

2015-09-03

Caracterización de las Propiedades Indices de los Flujos de Lodos en 3 km² de la Ladera Oriental de la Ciudad de Medellín

Juan Camilo Viviescas
Universidad de Antioquia, juan.viviescas@udea.edu.co

Juan Pablo Osorio
Technological University Dublin, juan.osorio@tudublin.ie

Follow this and additional works at: <https://arrow.tudublin.ie/engschcivcon>



Part of the [Civil Engineering Commons](#), [Geological Engineering Commons](#), and the [Geotechnical Engineering Commons](#)

Recommended Citation

Viviescas, J. C., & Osorio, J. P. (2015). Caracterización de las Propiedades Índices de los Flujos de lodos en 3 Km² de la Ladera Oriental de la Ciudad de Medellín. In G. Bayona, C. P. Lalinde, M. I. Marín Cerón, A. Ochoa, A. Pardo Trujillo, & J. D. Sanabria Gómez (Eds.), *Memorias XV Congreso Colombiano de Geología* (pp. 139 – 148). Bucaramanga, Colombia: Sociedad Colombiana de Geología.

This Conference Paper is brought to you for free and open access by the School of Civil and Structural Engineering at ARROW@TU Dublin. It has been accepted for inclusion in Conference papers by an authorized administrator of ARROW@TU Dublin. For more information, please contact arrow.admin@tudublin.ie, aisling.coyne@tudublin.ie.



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-Noncommercial-Share Alike 4.0 License](#)



29. CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES ÍNDICES DE LOS FLUJOS DE LODOS EN 3 KM² DE LA LADERA ORIENTAL DE LA CIUDAD DE MEDELLÍN

Viviescas, J.C.¹; Osorio, J.P.¹

1. GeoResearch International – GeoR, Escuela Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia UdeA; Calle 70 No. 52-21, Medellín, Colombia.

RESUMEN

La caracterización de las propiedades índices de los geomateriales es una de las labores más importantes en la ingeniería geotécnica, al ser estos un insumo fundamental para la identificación y determinación de propiedades geomecánicas de los suelos. Las principales propiedades índices estudiadas en la geotecnia son el contenido de agua, los límites de Atterberg, la granulometría, el peso unitario y la gravedad específica, las cuales son la base para clasificación de suelos. En este artículo se presenta el análisis estadístico de las propiedades índices de suelos tipo flujo de lodos de la ladera oriental de Medellín, a partir del análisis de 10 proyectos de acceso público y con información suficiente para los análisis, los cuales cubren un área aproximada de 3 km². Los resultados evidencian bajos coeficientes de variación de las propiedades índices de los flujos de lodos, especialmente para la densidad húmeda y granulometría, porcentajes de saturación altos y, según los límites de Atterberg, estos suelos se encuentran primordialmente en estado plástico.

INTRODUCCIÓN

La ladera oriental de la ciudad de Medellín, específicamente el barrio El Poblado, es uno de los lugares con mayor crecimiento urbanístico del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, y en esta se han reportado importantes procesos de inestabilidad históricamente. El sector es caracterizado por presentar una gran cantidad de edificaciones de diferente altura y área, las cuales deben seguir los lineamientos de la Norma Sismo Resistente Colombiana (NSR-10), en la que se establece que se deben realizar estudios geológicos y geotécnicos (AIS, 2010), los cuales son de acceso público al estar radicados en las curadurías municipales.

Con el fin de realizar estudios geológicos o geotécnicos, las propiedades índices de los suelos deben ser conocidas para cada uno de los estratos encontrados en el sitio de análisis, como insumo para la realización los diseños de cimentaciones, estabilidad de laderas o contenciones de los proyectos de ingeniería. Estos parámetros pueden ser determinados por diferentes tipos de ensayos, tales como son las densidades húmedas (ASTM D7263-09), contenido de agua (I.N.V.E-122, 2013), límites de Atterberg (ASTM D4318-10e1 y I.N.V.E-126, 2007), sistema unificado de clasificación de suelos (ASTM D2487-11 y I.N.V.E-123, 2007) y gravedad específica (I.N.V.E-128, 2013), a partir de las cuales se calcula el grado de saturación del suelo:



$$S = \frac{wxGs}{e} \quad (1)$$

Donde,

w: Porcentaje de humedad.

Gs: Gravedad específica.

e: Relación de vacuos

GEOLOGÍA SECTOR DEL POBLADO

Este sector del municipio de Medellín, se destaca principalmente por la presencia de depósitos de vertiente como son los flujos de lodos y los flujos de escombros pertenecientes a la unidad de depósitos recientes (Qt), además de suelos de origen metamórfico como son las Anfibolitas de Medellín (Pav). A continuación se describen las características geológicas de los flujos.

De acuerdo con la Microzonificación Sísmica del Valle de Aburrá (A.M.V.A, 2006):

Los Flujo de escombros y/o lodos generalmente aparecen dispersos sobre extensiones en el Valle de Aburrá, reposando concordantemente sobre el basamento ígneo – metamórfico y sobre el depósito más antiguo o intercalados con ellos. Están constituidos por bloques heterométricos, con un grado de meteorización de moderado a alto, donde se presentan igualmente grados de litificación medios a altos de acuerdo al nivel de meteorización presente. Con matriz arcillo limosa o limo arcillosa, en colores claros como pardo, gris y amarillo. Su génesis se encuentra asociada a la desestabilización de la vertiente afectadas por el fracturamiento múltiple sobre estas rocas, además de eventos sísmicos y alta pluviosidad, factores que ayudaron a movilizar los niveles saprolíticos de las rocas hacia la parte inferior de las vertientes.

Sobre el sector el poblado, Según Rendón, Toro, & Hermelin (2006) se identifican principalmente tres series de eventos de formación de los flujos de lodos (serie I, II y III) donde la Serie I, corresponde a la coalescencia de varios depósitos de vertiente que se generaron una superficie originalmente homogénea y suave, la Serie II corresponde al agrupamiento de varios depósitos de vertiente en forma de abanico con canales alimentadores que descienden de diferentes ligares del interior de la vertiente; y por último, la Serie III que agrupa los depósitos que evidencian los elementos morfológicos típicos de los flujos de escombros: un área identificable, canales de transporte representados por el actual sistema de drenaje y los abanicos de inclinación suaves hacia el fondo.

METODOLOGÍA

Para la determinación de las propiedades índices de los flujos de lodos, se analizaron un total de 10 proyectos que cubren un área aproximada de 3 km², en la ladera oriental del Valle de Aburrá, específicamente en el barrio El Poblado. Los proyectos, fueron elegidos según los siguientes criterios de selección:

1. Ubicación detallada del proyecto.
2. Realización de ensayos de campo sustentados según la NSR-10 o la NSR-98.
3. Descripción geológica detallada de los mantos reportados en los sondeos.
4. Identificación clara de los ensayos de laboratorio realizados sobre cada estrato.
5. Presentación de las memorias de resultados de laboratorio.

El área analizada que contiene los proyectos, se presenta en la Figura 1, la cual se encuentra ubicada entre las calle 12 y 12 sur y entre las carreras 30 y 48, de la ciudad de Medellín.

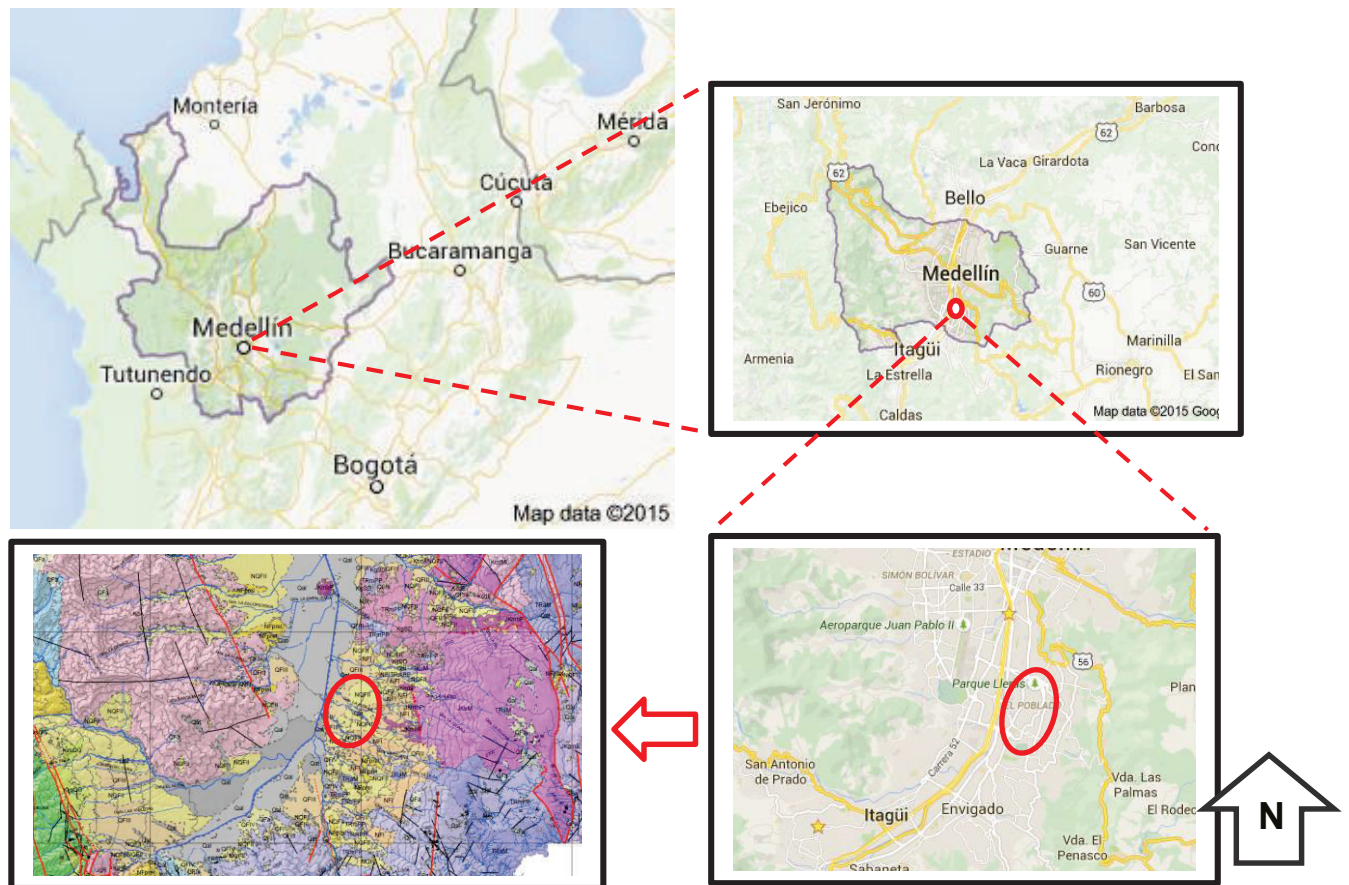


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio (Google Maps) y ubicación sobre mapa geológico de Medellín (A.M.V.A, 2008).



Una vez recolectada la información, y con el fin de realizar la caracterización de las propiedades índice, se utilizan distintos métodos de estadísticos para el análisis de los datos descritos a continuación:

Media

Es el promedio aritmético de un conjunto de datos ($\varphi'_1, \varphi'_2, \dots, \varphi'_n$) y se puede expresar como (Baecher & Christian, 2003):

$$\overline{\varphi'} = \sum_{i=1}^n \varphi'_i/n \quad (2)$$

Donde,

$\overline{\varphi'}$: Es la media o promedio de los datos.

n: Cantidad de datos presentes

Desviación estándar

Es la raíz cuadrada positiva de la varianza, y se denota como (Baecher & Christian, 2003):

$$S = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(\varphi'_i - \overline{\varphi'})^2}{(n-1)}} \quad (3)$$

Donde,

s: Es la desviación estándar.

Si la varianza es poblacional en el denominador se usa (n), y cuando la varianza es muestral, para datos simples o agrupados, se hace uso de (n-1). Esto permite corregir sesgos estadísticos debido a que la media se calcula a partir de los mismos datos (Baecher & Christian, 2003).

Coefficiente de variación.

El coeficiente de variación (Cv) de una muestra se define como la desviación estándar dividida por la media, la cual expresa la dispersión relativa de los datos (Baecher & Christian, 2003; Montgomery & Runger, 2002).

$$Cv = \frac{S}{\overline{\varphi'}} \quad (4)$$



XV CONGRESO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA, 2015
"Innovar en Sinergia con el Medio Ambiente"
Bucaramanga, Colombia
Agosto 31 – Septiembre 5, 2015

El coeficiente de variación es muy útil cuando se pretende la comparación de la incertidumbre de dos o más conjuntos de datos, los cuales difieren de manera considerable en la magnitud de la observación (Montgomery & Runger, 2002).

Según Phoon & Kulhawy (1999), la mayoría de coeficientes de variación reportados en la literatura geotécnica está basados en los análisis de variabilidad total, pero este coeficiente puede ser considerablemente más grande que la variabilidad inherente real del suelo, debido a cuatro problemas potenciales:

1. *Datos de suelo de diferentes unidades geológicas están mezclados*: esto se mitiga realizando una clasificación apropiada de la geología.
2. *Control sobre los equipos y el procedimiento son insuficientes*: la documentación en los procedimientos de control durante las pruebas geotécnicas, no son lo suficientemente detalladas para permitir la evaluación cuantitativa de los errores de medida.
3. *Tendencias determinísticas del suelo no son removidos*: algunas de las propiedades geotécnicas utilizadas para determinar la variabilidad provienen de valores uniformes o determinísticos, como en el caso de los esfuerzos efectivos, los cuales son calculados sin considerar las posibles variaciones de los pesos unitarios en profundidad.
4. *Los datos de los suelos son obtenidos en largos periodos de tiempo*: la mayoría de estudios no reportan el tiempo en el que obtuvieron los datos del suelo, pero aun así, debido a las condiciones del tiempo geológico, no es posible determinar si el cambio del tiempo en las realizaciones de las pruebas afecta las propiedades del este.

RESULTADOS

En la **Tabla 1** se presenta la compilación de los resultados de las propiedades índices, de los proyectos analizados.

Tabla 1. Compilación de pruebas índices de los flujos de lodos del sector El Poblado.

Proyecto	Sondeo	Prof.m	LL(%)	LP(%)	IP (%)	W(%)	U.S.C	Gama. g/cm3	Gs	Saturacion
P1	1	4,9	80	53	27	62	MH	1,64	2,73	90
	1	8	67	46	21	51	MH			
	1	10,45	65	46	19	49	MH	1,67	2,65	95
	2	5,25	71	51	20	42	MH	1,64	2,78	85
	2	9,25	52	39	13	44	MH			
	2	12,1	47	32	16	43	ML	1,76	2,76	90
	2	17,5	52	38	13	79	MH			
	3	3,1	46	33	13	39	ML			
P2	4	3,5	83	49	33	60	MH			
	1	5,45	50	42	9	42	MH	1,61	2,52	100
P2	1	11	59	40	19	48	MH			
	2	4	57	42	15	42	MH			
P3	1	3	77	53	23	48	MH			
	2	4,15	73	51	22	48	MH			
P4	1	5,1				59		1,63	3	90
P5	1	3	73	53	20	43	MH			
	2	8,1	67	47	20	55	MH			
	2	12,3	55	41	14	62	MH	1,57	2,76	88
	3	9,6	59	41	18	46	MH			
P6	4	9	62	46	16	48	MH			
	1	3	67	42	25	45	MH			
	1	7	68	45	23	80	MH			
	2	2	74	43	31	37	MH			
P7	2	7	47	30	17	56	MH			
	1	9	78	50	28	70	MH			
	2	13	44	32	11	52	ML			
P8	3	11	59	40	19	48	MH			
	1	4,45	77	42	35	42	MH	1,66	2,72	88
	2	3,45	64	41	23	36	MH			
	2	6,45	45	32	14	34	SM			
	3	3,45	67	44	23	33	MH	1,64	2,56	91
P9	3	6,45	52	31	21	29	MH			
	4	4,45	56,0	36,8	19,2	41,7	MH	1,69	2,7	80
	2	7,3						1,67		
	2	9,3						1,66		
P10	2	10,3						1,64		
	2	3,45				60		1,63	2,748	
	3	5				47,3		1,71		95
PROMEDIO	4	4	48	25	23		CL			
	PROMEDIO		61,9	41,7	20,1	49,2	MH	1,65	2,75	90,18
	Desv Estandar		11,39	7,31	6,11	11,88		0,04	0,16	5,33
	CV:		0,18	0,18	0,30	0,24		0,03	0,06	0,06
Cv(%):		18	18	30	24		3	6	6	

La representación gráfica en profundidad de los límites y el porcentaje de humedad, se presenta en la Figura 2.

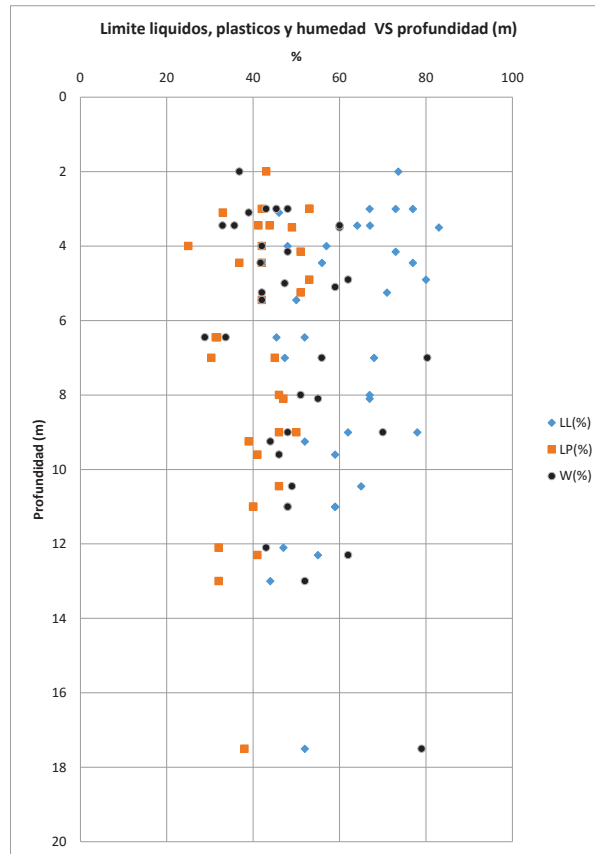


Figura 2. Límites líquidos, límite plástico y humedades vs Profundidad

A continuación se presenta el análisis gráfico (Figuras 3 a 5) por medio de histogramas de frecuencia de los resultados recopilados, por medio del Software R® (2015)

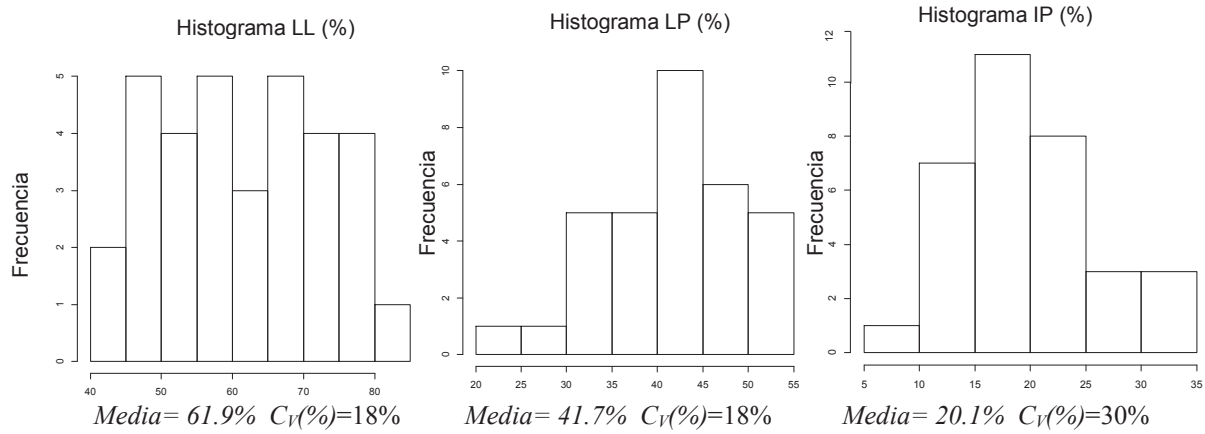


Figura 3. Histograma de frecuencias limite líquido (izquierda), limite plástico (medio) e índice de plasticidad (derecha).

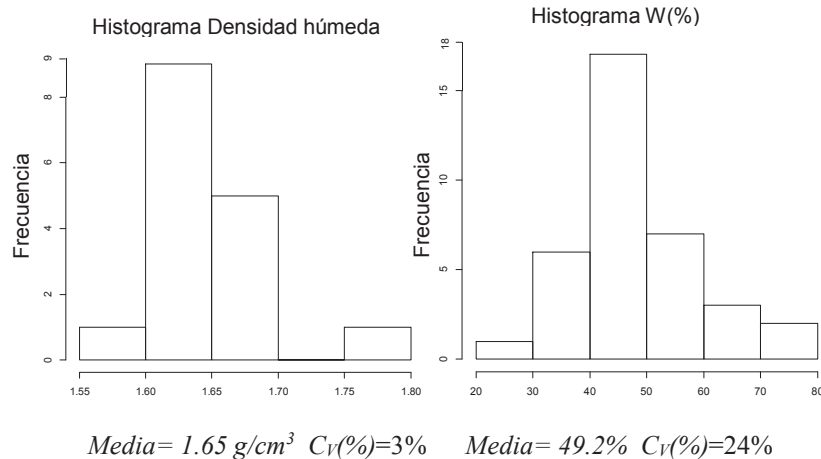


Figura 4. Histograma de frecuencias para la densidad húmeda (izquierda) y porcentaje de humedad (derecha)

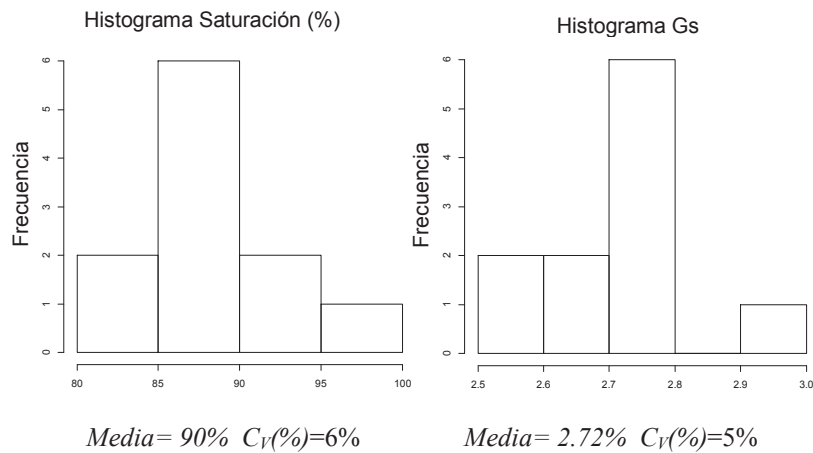


Figura 5. Histograma de frecuencias para el porcentaje de saturación (izquierda) y gravedad específica (derecha)

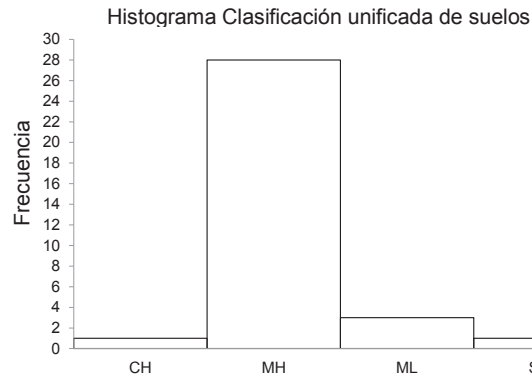


Figura 6. Histograma de frecuencias para la clasificación unificada de suelos.

CONCLUSIONES

- A pesar que las muestras analizadas en los diferentes proyectos, están distribuidas en un área relativamente grande (3 km²), los coeficientes de variación de las diferentes propiedades índice de los flujos de lodos son bajos.
- Según la clasificación unificada de suelos, para 32 muestras analizadas, 28 se clasifican como MH (limo de alta plasticidad), coincidiendo esto con las descripciones presentada por la geología local.
- El porcentaje de humedad presenta variaciones entre un 20% y un 80%, con tendencia central en un 49.2%, el cual es uno de los parámetros de mayor dispersión. Esto se puede explicar, debido a la influencia de los materiales de diferentes granulometrías encontrados, lo que afecta directamente el contenido de agua obtenido.
- El porcentaje de saturación presenta valores promedio del orden del 90%, con un coeficiente de variación muy bajo (Cv=6%); lo que representa estados del suelo cercanos a la saturación total.
- Según los límites líquidos, plásticos y porcentaje de humedad, se presenta que un 48% de los datos se encuentran en estado “Plástico”, un 28% en estado “semilíquido” y un 23% en estado “semisólido”
- Los pesos unitarios húmedos presentan un valor promedio de 1.65 g/cm³, con un coeficiente de variación (Cv=3%) muy bajo para la unidad geológica analizada; lo que permitiría inferir una alta homogeneidad en el proceso de formación del manto estudiado.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A.M.V.A. (2006). Microzonificación sísmica detallada de los municipios de Barbosa, Girardota, Copacabana, Sabaneta, La Estrella, Caldas y Envigado. Medellín: Area Metropolitana del Valle de Aburrá.
- A.M.V.A. (2008). MAPA GEOLOGICO VALLE DE ABURRÁ. Consorcio Microzonificación 2006.
- AIS. (2010). Reglamento Colombiano De Construcción Sismo Resistente (NSR-10). Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.
- Baecher, G., & Christian, J. (2003). *Reliability and Statistics in Geotechnical Engineering* (1st ed.). New York: John Wiley & Sons.
- I.N.V.E-122. (2013). Determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) del suelo, roca y mezclas de suelo - agregado. Instituto Nacional de Vías.
- I.N.V.E-123. (2013). Análisis granulométrico de suelos por tamizado. I.N.V. E - 123 - 07. Instituto Nacional de Vías.
- I.N.V.E-126. (2013). Límite plástico e índice de plasticidad de suelos. Instituto Nacional de Vías.
- I.N.V.E-128. (2013). Determinación de la gravedad específica de los suelos y del llenante mineral. Instituto Nacional de Vías.
- Montgomery, D., & Runger, G. (2002). *Probabilidad y estadística aplicadas a la ingeniería* (2nd ed.). México: LIMUSA.
- Phoon, K.-K., & Kulhawy, F. H. (1999). Characterization of geotechnical variability. *Canadian Geotechnical Journal*, 36, 612–624. <http://doi.org/10.1139/t99-038>
- Rendón, D. A., Toro, G. E., & Hermelin, M. (2006). Modelo Cronoestratigráfico Para El Emplazamiento De Los Depósitos De Vertiente En El Valle De Aburrá. *Boletín de Ciencias de La Tierra*, 18, 103–118.
- R Core Team (2015). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.